

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 52 351.0

**Anmeldetag:** 06. November 2003

**Anmelder/Inhaber:** ifm electronic gmbh, 45127 Essen/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Position eines  
Beeinflussungselements mit einem induktiven  
Positionssensor

**Priorität:** 07. Mai 2003 DE 103 20 565.9

**IPC:** G 01 B 7/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 02. April 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag


Stremme

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

03.0566.7.se

Essen, den 6. November 2003

**P a t e n t a n m e l d u n g**



der Firma

i f m electronic gmbh

Teichstraße 4

45127 Essen



mit der Bezeichnung

**Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor**

## **Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren linear oder kreisförmig hintereinander angeordneten Spulen, mit mindestens einem Kondensator, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, gemäß der DE 101 30 572 A1.

Positionssensoren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements sind in einer Vielzahl von Ausführungsformen und für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten bekannt. Derartige Positionssensoren können zum einen danach unterteilt werden, ob es sich bei der Bewegung des zu überwachenden Beeinflussungselements in erster Linie um eine lineare Bewegung handelt, somit durch den Positionssensoren eine Strecke erfaßt werden soll, oder ob es sich bei der Bewegung des Beeinflussungselements in erster Linie um eine kreisförmige Bewegung handelt, so daß durch den Positionssensor der Drehwinkel des Beeinflussungselements überwacht bzw. festgestellt wird. Positionssensoren, die eine Strecke erfassen, werden häufig als Wegsensoren bezeichnet, während Positionssensoren, die einen Drehwinkel erfassen, häufig als Drehwinkelgeber bezeichnet werden.

Außerdem können Positionssensoren nach ihrem physikalischen Funktionsprinzip unterteilt werden. Bekannt sind zum Beispiel induktive, kapazitive oder optoelektronische Positionssensoren.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor, insbesondere mit einem induktiver Wegsensor, mit dem eine lineare Bewegung eines Beeinflussungselements, d.h. eine Strecke, gemessen werden kann. Derartige bekannte induktive Wegsensoren weisen mehrere Spulen auf, von denen mindestens eine Spule als Primärspule und mindestens eine andere Spule als Sekundärspule ausgebildet sind. Die Spulen sind dabei zumeist nach

dem Transformatorprinzip aufgebaut, so daß einer Primärspule seitlich benachbart jeweils eine Sekundärspule angeordnet ist. Die induktive Kopplung zwischen der mittigen Primärspule und den beiden seitlich angeordneten Sekundärspulen wird dabei durch die Position eines im Bereich der Zylinderachse des zylindrischen Spulensystems angeordneten – beispielsweise als magnetisch leitender Stab ausgebildeten – Beeinflussungselements verändert. Derartige induktive Wegsensoren sind aus der DE 43 37 208 A1 und der DE 196 32 211 A1 bekannt.

Die DE 31 02 439 A1 offenbart einen induktiven Wegsensor mit zwei voneinander weitgehend entkoppelten magnetischen Kreisen, mit zwei Luftspulen, wobei in die erste Luftspule ein Kern eintauchen kann, dessen jeweils momentane Eintauchtiefe induktiv abgetastet wird und in der zweiten Luftspule ein zweiter Kern fest angeordnet ist. Eine Bestimmung der Position des beweglichen Kerns erfolgt dabei durch eine Messung des Induktivitätsverhältnisses der ersten Luftspule zur zweiten Spule.

Aus der DE 42 13 866 A1 ist ein induktiver Drehsensor bekannt, bei dem mehrere Spulen so nebeneinander auf einer Grundplatte angeordnet sind, daß von mehreren Spulen gleichzeitig mehrere Meßwerte gewonnen werden, wodurch eine relativ genaue Extrapolation der Rotorlage möglich ist. Die einzelnen Spulen sind dabei jeweils mit einer Oszillatorstufe fest verbunden, wobei die Ausgänge der Oszillatorstufen parallel einer Auswerteeinheit zugeführt werden. Die Positionserfassung des Beeinflussungselements erfolgt dabei mittels einer Musteranalyse mehrerer gleichzeitig gemessener Frequenzwerte. Diese Art der Auswertung ist jedoch aufgrund der großen Informationsmenge für schnelle Anwendungen nur bedingt einsetzbar.

Nachteilig ist bei den bekannten induktiven Wegsensoren, daß zum einen die Baulänge des Wegsensors deutlich länger als die maximal überwachbare Strecke des Beeinflussungselements ist, so daß bei einer vorgegebenen zu überwachenden Weglänge ein bis zu 100 % längerer Wegsensor erforderlich ist. Dies ist insbesondere dort, wo nur ein begrenzter Einbauraum zur Verfügung steht, unerwünscht. Zum anderen ist bei den bekannten induktiven Wegsensoren die erreichbare Meßgenauigkeit häufig nicht ausreichend oder sie kann nur durch erhöhten schaltungstechnischen Aufwand verbessert werden.

Dieses Problem ist bei dem induktiven Wegsensor gemäß der DE 101 30 572 A1 dadurch gelöst, daß nacheinander die einzelnen Spulen bzw. die einzelnen Oszillatoren durch den Umschalter angewählt werden, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden und daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zur jeweiligen Spule mißt.

Es ist auch möglich, die einzelnen Spulen nacheinander nicht nur mit einem Kondensator sondern mit einem festen, definierten Schwingkreis zu verbinden. Ist dieser feste Schwingkreis mit dem Verstärkerelement verbunden, so weist die Schaltung einen ständig schwingenden Oszillator auf, dem jeweils nur eine andere (Meß-)Spule zugeschaltet wird. Dies hat den Vorteil, daß ein Anschwingen des Schwingkreises bzw. des Oszillators nicht erforderlich ist.

Wenn zuvor ausgeführt worden ist, daß die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator – oder mit dem festen, definierten Schwingkreis – verbunden werden, so ist damit nicht gemeint, daß die einzelnen Spulen entsprechend ihrer räumlichen Anordnung nacheinander durch den Umschalter angewählt werden müssen. Grundsätzlich ist es auch möglich, beliebige Spulen zeitlich nacheinander durch den Umschalter anzuwählen.

Durch die Verwendung mehrerer hintereinander angeordneter Spulen, wobei die Spulen in Richtung der festzustellenden Position des Beeinflussungselements hintereinander angeordnet sind und wobei die Auswerteeinheit durch den Umschalter nacheinander eine Veränderung der Impedanz jeder Spule bzw. jedes Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements mißt, ist ein induktiver Wegsensor realisierbar, dessen Baulänge nur geringfügig größer als die Gesamtlänge der zu überwachenden Strecke ist.

Bei dem Verfahren gemäß der DE 101 30 572 A1 kann die Position eines Beeinflussungselements mittels eines induktiven Positionssensors dadurch sehr präzise und zuverlässig erfaßt werden, daß das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden,
- 5 • Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zur Spule,

10 wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt, d. h. nacheinander mit dem Kondensator verbunden worden sind und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist.

15 Das bekannte Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß es bei einer gewünschten hohen Genauigkeit eine unter Umständen nicht ausreichenden Meßgeschwindigkeit bzw. Reaktionszeit aufweist. Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor anzugeben, welches auch bei einer hohen Meßgenauigkeit eine hohe Meßgeschwindigkeit aufweist.

Diese Aufgabe ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß im weiteren Betrieb zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule (aktuelle Spule) ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements bestimmt werden kann und erst dann die Impedanz mindestens einer weiteren Spule bzw. eines weiteren Schwingkreises gemessen wird, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der aktuellen Spule verändert.

30 Erfindungsgemäß ist somit erkannt worden, daß im Betrieb – nachdem zu Beginn die aktuelle Position des Beeinflussungselements bestimmt worden ist – nicht dauernd die Impedanz sämtlicher Spulen bzw. sämtlicher Schwingkreise gemessen werden muß. Vielmehr ist es ausreichend, wenn zunächst nur die Impedanz der Spule gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements bestimmt werden kann. Diese Spule wird nachfolgend immer als die "aktuelle" Spule bezeich-

net. Sobald das Beeinflussungselement seine Position verändert, wird dies dadurch erkannt, daß sich die Impedanz der aktuell durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des angewählten Schwingkreises verändert. Erst wenn dies der Fall ist, ist es erforderlich, die veränderte Position des beeinflussten Elements neu zu bestimmen.

Erfindungsgemäß ist somit dadurch eine wesentliche Verkürzung der Meßzeit realisiert worden, daß im Betrieb nicht ständig die Impedanz sämtlicher Spulen gemessen wird. Erst wenn dies erforderlich ist, wird die Impedanz einer weiteren Spule bzw. eines weiteren Schwingkreises zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements gemessen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird somit auf die Messung der Impedanz der Spulen bzw. der Schwingkreise verzichtet, die aktuell keine neuen Informationen über die Position des Beeinflussungselements beitragen. Hierdurch kann eine Reduzierung der Meßzeit erreicht werden, die proportional zur Anzahl der verwendeten Spulen ist, d. h. bei insgesamt 16 Spulen läßt sich somit die Meßzeit im Betrieb auf ca. 1/16 der ursprünglichen Meßzeit reduzieren.

Bei der aktuellen Spule kann es sich um diejenige Spule handeln, der das Beeinflussungselement am nächsten ist. Es kann jedoch auch die Spule sein, die benachbart zu der Spule angeordnet ist, der das Beeinflussungselement am nächsten ist. Dies hängt mit der nichtlinearen Kennlinie der Impedanz der einzelnen Spulen in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements zusammen und ist darüber hinaus auch abhängig von der Breite des Beeinflussungselements relativ zur Breite der einzelnen Spulen. Ist die Breite des Beeinflussungselements größer als die Breite der einzelnen Spulen, wie dies bevorzugt der Fall ist, so ist das Meßergebnis der Spule, der das Beeinflussungselement direkt gegenüber steht, nur bedingt zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements geeignet, da sich bei einer kleinen Bewegung des Beeinflussungselements die Impedanz dieser Spule kaum verändert. Bei der benachbarten Spule, der das Beeinflussungselement nicht direkt gegenüber steht, bewirkt dagegen eine kleinen Bewegung des Beeinflussungselements eine relativ große Änderung der Impedanz dieser Spule, so daß in diesem Fall diese Spule diejenige ist, mit der die Position des Beeinflussungselements – am Besten – bestimmt werden kann. Diese Spule ist dann die aktuelle Spule.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird dann, wenn sich der gemessene Wert der Impedanz der aktuellen Spule bzw. des Schwingkreises verändert, die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen, die der aktuellen Spule räumlich benachbart angeordnet ist. Hierbei ist erkannt worden, daß sich die Position des Beeinflussungselements nicht sprunghaft ändert. Daher ist es ausreichend, daß in dem nächsten Schritt zunächst nur die Impedanz der benachbarten Spule bzw. des benachbarten Schwingkreises, nicht jedoch zwingend die Impedanz sämtlicher Spulen neu gemessen werden muß. Nur wenn dies erforderlich ist, wird anschließend die Impedanz einer weiteren – wiederum benachbarten – Spule gemessen.

Wie zuvor bereits ausgeführt, ist die Verhältnis der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises zur Position des Beeinflussungselements nicht linear. Je weiter das Beeinflussungselement von der jeweiligen Spule entfernt ist, desto geringer ist die Änderung der Impedanz durch die Anwesenheit des Beeinflussungselements. Daneben gibt es für jede Spule einen Bereich, innerhalb dessen eine bestimmte Positionsänderung des Beeinflussungselements eine maximale Impedanzänderung der Spule bewirkt. Innerhalb dieses Bereiches kann die Position des Beeinflussungselements dann von der jeweiligen Spule mit der höchsten Meßgenauigkeit bestimmt werden. Mit zunehmender Entfernung von diesem "optimalen" Bereich einer jeden Spule bewirkt eine Positionsänderung des Beeinflussungselements eine immer kleinere Impedanzänderung der Spule, so daß auch die Meßgenauigkeit die dann mit dieser Spule erreicht werden kann, immer geringer wird.

Vorteilhafterweise werden daher bei einer Bewegung des Beeinflussungselements innerhalb einer Messung Bedarfsweise zwei Spulen, nämlich die aktuelle Spule und die räumlich benachbarte Spule gemessen. Hierdurch ergibt sich eine Erhöhung der Meßgenauigkeit, wobei vorteilhafterweise die beiden Spulen abwechselnd gemessen werden und zur Ermittlung der Position des Beeinflussungselements die Meßwerte der einzelnen Spulen gewichtet werden. Dabei wird der Meßwert derjenigen Spule stärker gewichtet, bei der sich der Meßwert innerhalb des linearen Bereichs der Kennlinie befindet, d. h. das Beeinflussungselement näher an dem "optimalen" Bereich der Spule ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem Kalibriervorgang das Beeinflussungselement über die maximal meßbare Länge des induktiven Weggebers verfahren und werden die während des Kalibriervorgangs erhaltenen Werte der einzelnen Spulen bzw. der einzelnen Schwingkreise als Korrektur- bzw. Referenzwerte in der Auswerteeinheit oder in einen zusätzlichen Speicher gespeichert. Hierdurch ist es zunächst möglich, unterschiedliche Beeinflussungselemente mit unterschiedlichen Abmessungen oder aus unterschiedlichen Materialien zu verwenden. Auch können durch einen solchen Kalibriervorgang Bauteiltoleranzen, insbesondere geringfügig unterschiedliche Induktivitäten der Spulen, oder Veränderungen aufgrund von Temperaturschwanken kompensiert werden.

Aufgrund des Kalibriervorgangs ist außerdem die Position des Beeinflussungselements zu Beginn des Betriebs, d. h. nach dem Anwählen der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise und der Messung der Impedanzen, besonders sicher und genau ermittelbar. Insbesondere wenn Eingangs des Verfahrens ein derartiger Kalibriervorgang durchgeführt wird, kann aufgrund der laufend durchgeführten Messung der Impedanz der "ausgewählten" Spule sogar eine Aussage darüber gemacht werden, in welche Richtung sich das Beeinflussungselement bewegt. Dies ist aufgrund der sich mit der Wegänderung des Beeinflussungselements verändernden Frequenz und der durch den Kalibrier-vorgang bekannten "Grundfrequenz" der Spule möglich.

Schließlich wird gemäß einer letzten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, die hier noch kurz erläutert werden soll, zusätzlich zur Messung der aktuellen Spule oder zur abwechselnden Messung zweier benachbarter Spulen eine dritte Spule gemessen, wobei die dritte Spule nicht benachbart zur aktuellen Spule ist. Hierdurch ist auf einfache Art und Weise eine Plausibilitätsüberprüfung des Meßergebnisses möglich, da bei einer Beeinflussung der aktuellen Spule durch das Beeinflussungselement die dritte Spule im wesentlichen unbeeinflusst ist. Ist dies nicht der Fall, d. h. ist die dritte Spule beeinflusst, so muß ein Fehler bei der Bestimmung der Position des Beeinflussungselements aufgetreten sein.

Zuvor ist ausgeführt worden, daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Impedanz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises mißt. Bevorzugt wird dabei von der Auswerteeinheit eine Veränderung der Frequenz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements gemessen. Daneben ist es jedoch auch möglich, daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Induktivität der Spule bzw. des Schwingkreises oder eine Veränderung der Amplitude des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements mißt.

Wird gemäß der bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung durch die Auswerteeinheit die Veränderung der Frequenz gemessen, so wird in der Regel die Frequenzänderung des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements gemessen. Zumindest theoretisch ist es jedoch auch möglich, daß die Veränderung der Frequenz allein der Spule gemessen wird, insofern, als jede reale Spule neben der in erster Linie charakteristischen Induktivität auch einen ohmschen Widerstand und mehrere parasitäre Kapazitäten aufweist. Somit weist eine reale Spule eine Eigenresonanzfrequenz auf, die durch die Induktivität und die parasitären Kapazitäten der Spule bestimmt ist. In der Regel wird jedoch die Veränderung der Frequenz des Schwingkreises, bestehend aus einer Spule und dem Kondensator, von der Auswerteeinheit gemessen.

Die Beeinflussung der Spule bzw. des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements beruht theoretisch auf drei unterschiedlichen physikalischen Effekten, die sich je nachdem, welche Art von Beeinflussungselement verwendet wird, unterschiedlich stark auswirken.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird bevorzugt ausgewertet eine Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement aufgrund des Transformatorprinzips. Der hier als Transformatorprinzip bezeichnete physikalische Effekt beruht darauf, daß die Spule des Schwingkreises ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt, das in einem benachbarten Körper – dem Beeinflussungselement – zunächst nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert. Bei Verwendung eines Beeinflussungselements aus einem Material mit einer hinreichend großen Leitfähigkeit führt die induzierte Spannung zu einem Stromfluß im Beeinflussungselement. Dieser

aus der im Beeinflussungselement induzierten "sekundären" Spannung resultierende Strom hat seinerseits ein elektromagnetisches Wechselfeld zur Folge, das dem "primären" elektromagnetischen Wechselfeld, d.h. dem durch die Spule erzeugten elektromagnetischen Wechselfeld, entgegengerichtet ist. Dieses entgegengerichtete "sekundäre" elektromagnetische Wechselfeld bewirkt eine Verringerung der Induktivität und somit eine Vergrößerung der Frequenz des Schwingkreises. Bevorzugt wird nun diese Frequenzerhöhung in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements durch die Auswerteeinheit gemessen und ausgewertet.

Der zweite physikalische Effekt, der bei der Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement auftritt, ist die Beeinflussung des magnetischen Widerstandes des magnetischen Kreises. Befindet sich kein Beeinflussungselement in der Nähe der Spule, so ist der magnetische Widerstand allein durch die Luft bestimmt und somit sehr groß. Befindet sich ein Beeinflussungselement aus einem vorzugsweise ferromagnetischen Material in der Nähe der Spule, so wird dadurch der elektromagnetische Widerstand des magnetischen Kreises reduziert, was an einer Reduzierung der Frequenz des Schwingkreises festgestellt werden kann.

Der dritte physikalische Effekt, der bei der Beeinflussung der Impedanz des Schwingkreises durch ein Beeinflussungselement auftritt, ist die "echte" Bedämpfung des Schwingkreises, indem dem elektromagnetischen Wechselfeld des Schwingkreises aufgrund von Wirbelstromverlusten im Beeinflussungselement Energie entzogen wird. Dieser hier als "echter" Bedämpfung bezeichnete physikalische Effekt wird in der Regel bei induktiven Näherungsschaltern ausgewertet.

Da theoretisch alle drei Effekte wirksam sind, muß dafür gesorgt werden, daß die beiden Effekte, die zur Auswertung nicht herangezogen werden sollen, vernachlässigbar klein sind gegenüber dem Effekt, der zur Auswertung herangezogen werden soll.

Wird zur Auswertung der Transformatoreffekt herangezogen, wie vorzugsweise vorgesehen, dann darf dieser Transformatoreffekt nicht konterkariert werden dadurch, daß durch ferromagnetisches Material der Widerstand des

magnetischen Kreises und damit die Frequenz reduziert wird. Vorzugsweise wird die Beeinflussung aufgrund des Transformatorprinzips ausgewertet, weil dabei durch eine geeignete Wahl der Frequenz sichergestellt werden kann, daß die Meßergebnisse im wesentlichen unabhängig von dem verwendeten Material des Beeinflussungselements sind. Der ferromagnetische Einfluß kann dann unberücksichtigt bleiben. Die dafür zu wählende Frequenz des unbeeinflussten Schwingkreises liegt vorzugsweise oberhalb von 500 kHz, beispielsweise zwischen 500 kHz und 10 MHz.

Wird gemäß der bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung die Veränderung der Frequenz des Schwingkreises durch das Beeinflussungselement gemessen, so sollte der induktive Positionssensor mindestens einen Zähler aufweisen, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit verbunden ist. Der Zähler kann dabei auch direkt in der Auswerteeinheit, beispielsweise in einem Mikroprozessor, integriert sein. In diesem Fall ist dann die Auswerteeinheit einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit dem Umschalter verbunden.

Gemäß einer ersten Ausgestaltung zählt dann der Zähler die Anzahl der Schwingungen so lange, bis ein voreingestellter Wert erreicht ist und mißt die Auswerteeinheit die Zeit, die vergeht, bis der Zähler diesen voreingestellten Wert erreicht hat. Besonders vorteilhaft ist hierbei, daß eine Zeitmessung mit der Auswerteeinheit, beispielsweise einem Mikroprozessor, sehr einfach realisiert werden kann. Wird nach dem Transformatorprinzip gearbeitet, so daß die Anwesenheit des Beeinflussungselements vor der angewählten Spule die Frequenz des Schwingkreises erhöht, so wird dies bei der zuvor beschriebenen Art der Auswertung dadurch festgestellt, daß der Zähler den voreingestellten Wert schneller erreicht, verglichen mit dem Zustand, daß die Spule und damit der Schwingkreis von dem Beeinflussungselement unbeeinflusst ist. Die Auswerteeinheit mißt somit eine im Vergleich zum unbeeinflussten Zustand kürzere Zeit.

Bei einer alternativen Ausgestaltung zählt der Zähler – oder direkt die Auswerteeinheit – die Anzahl der Schwingungen des Oszillators während einer vorgegebenen Zeitdauer und wird diese Anzahl von der Auswerteeinheit ausgewertet.

Bevorzugt wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, beispielsweise eines Kolbens, gemäß der zuvor genannten zweiten Ausgestaltung durchgeführt. Dabei wird von der Auswerteeinheit nicht nur die Anzahl der Schwingungen des Oszillators gezählt, sondern auch der Umschalter in Abhängigkeit vom ermittelten Ergebnis gesteuert.

Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements mit einem induktiven Positionssensor auszugestalten und weiterzubilden. Solche Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüchen sowie aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipsskizze eines Schaltungsaufbaus eines induktiven Positionssensors zur Verwendung bei dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig. 2 ein Ablaufschema eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 3 ein Diagramm der Kennlinien zweier Spulen.

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Schaltungsaufbau eines induktiven Wegsensors 1 zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements 2, der sich besonders gut zur Durchführung des Verfahrens eignet. Das Beeinflussungselement 2 kann beispielsweise am Ende einer Stange 3 angeordnet sein. An Stelle eines induktiven Wegsensors 1 kann das Verfahren jedoch auch mit einem induktiven Drehwinkelgeber durchgeführt werden.

Bei der prinzipiellen Darstellung gemäß Fig. 1 sind nur die wesentlichen Bauteile dargestellt, nicht jedoch sämtliche elektrischen bzw. elektronischen oder mechanischen Bauteile des induktiven Wegsensors 1, so daß der Wegsensor 1 nur unvollständig dargestellt ist; insbesondere ist auch kein den induktiven Wegsensor 1 aufnehmendes Gehäuse dargestellt. Im übrigen wird

bezüglich spezieller Ausführungsformen eines geeigneten induktiven Wegsensors 1 auch auf den Offenbarungsgehalt der DE 101 30 572 verwiesen.

Der Fig. 1 kann entnommen werden, daß der induktive Wegsensor 1 mehrere  
5 hintereinander angeordnete Spulen 4 – im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1  
insgesamt acht Spulen 4 – einen Kondensator 5, ein Verstärkerelement 6,  
mindestens einen Umschalter 7 und eine Auswerteeinheit 8 aufweist. Die  
Spulen 4 sind in Richtung der festzustellenden Position s des Beeinflussungs-  
elements 2 hintereinander angeordnet. Ebenso können die Spulen jedoch auch  
10 kreisförmig hintereinander angeordnet werden, wobei dann auch das Beein-  
flussungselement eine kreisförmige Bewegung ausführt und somit der Dreh-  
winkel des Beeinflussungselements gemessen werden kann.

Als Umschalter 7 wird bei insgesamt acht Spulen 4 ein Multiplexer 1 aus 8  
15 verwendet. Durch den Umschalter 7 wird jeweils eine Spule 4 mit dem Kon-  
densator 5 verbunden, so daß die durch den Umschalter 7 angewählte Spule 4  
und der Kondensator 5 einen Schwingkreis bilden. Zusammen mit dem Ver-  
stärkerelement 6 bildet der Schwingkreis dann einen Oszillator 9 mit einer  
durch die Induktivität der Spule 4 und die Kapazität des Kondensators 5 be-  
20 stimmten Resonanzfrequenz. Alternativ kann neben dem Kondensator 5 auch  
eine feste Spule 10 vorgesehen sein, die zusammen mit dem Kondensator 5  
einen festen Schwingkreis 11 bildet. Diesem – gestrichelt dargestellten –  
Schwingkreis 11 wird dann jeweils eine Spule 4 dazu geschaltet, so daß dann  
der feste Schwingkreis 11 und die Spule 4 einen Schwingkreis bilden, der zu-  
25 sammen mit dem Verstärkerelement 6 dann den Oszillator 9 bildet.

Ausgewertet wird nun nacheinander die Veränderung der Frequenz des Os-  
zillators 9 bzw. des Schwingkreises für jede Spule 4 in Abhängigkeit von der  
Position des Beeinflussungselements 2. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß  
30 Fig. 1 wird von der Auswerteeinheit 8 eine Veränderung der Frequenz des  
Oszillators 9 gemessen, ebenso kann jedoch auch eine Veränderung der Am-  
plitude des Oszillators 9 in Abhängigkeit von der Position des Beeinflus-  
sungselements 2 ausgewertet werden.

35 Die bevorzugte Auswertung einer Frequenzänderung erfolgt nun dadurch, daß  
der induktive Wegsensor 1 einen Zähler 12 aufweist, wobei der Zähler 12 Be-

standteil der Auswerteeinheit 8 ist. Der Eingang der Auswerteeinheit 8 bzw. der Zähler 12 ist mit dem Oszillator 9 und der Ausgang der Auswerteeinheit 8 mit dem Umschalter 7 verbunden. Der Umschalter 7 wird somit durch die Auswerteeinheit 8 geschaltet. Der Zähler 12 zählt dabei die Anzahl N der Schwingungen des Oszillators 9 innerhalb einer vorgegebenen Zeit.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt nun der zuvor beschriebene Meßablauf nur einmal zu Beginn des Verfahrens. Ist die Frequenzänderung aller Spulen 4 gemessen worden, d. h. ist der Umschalter 7 durch die Auswerteeinheit 8 einmal von der ersten bis zur letzten Position durchgeschaltet worden, so wird anschließend der Umschalter 7 auf die Position eingestellt, die der Spule 4 entspricht, zuvor als diejenige Spule 4 (aktuelle Spule) ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements 2 – am Besten – bestimmt werden kann. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist diese Position des Umschalter 7 gestrichelt eingezeichnet.

Eine bevorzugte Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens soll nun anhand der Fig. 2 erläutert werden. Nach dem Start des Meßvorganges findet zunächst ein Kalibriervorgang statt, bei dem das Beeinflussungselement über die maximale meßbare Länge des induktiven Weggebers bzw. über den maximal meßbaren Winkel des Drehwinkelgebers verfahren wird und die erhaltenen Werte der einzelnen Spulen als Korrektur- bzw. Referenz-Werte gespeichert werden. Dadurch kann jeder einzelnen Spule ein exakter Referenzwert zugewiesen werden, der aufgrund von Fertigungstoleranzen auch bei eigentlich gewollt identischen Spulen für die einzelnen Spulen geringfügig variieren kann.

Nun beginnt der eigentliche Meßvorgang zur Bestimmung der aktuellen Position des Beeinflussungselements. In einem ersten Verfahrensschritt wird hierzu zunächst die erste Spule bzw. der erste Oszillator durch den Umschalter angewählt und die Impedanz dieser Spule bzw. des Schwingkreises gemessen. Anschließend wird entsprechend die Impedanz der zweiten Spule bzw. des zweiten Schwingkreises gemessen. Dieser Vorgang wird nun so oft wiederholt, bis nacheinander alle Spulen durch den Umschalter angewählt und die Impedanz der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist. Sind insgesamt  $n = 8$  Spulen vorhanden, so wird

der zuvor beschriebene Meßvorgang somit acht mal wiederholt. Am Ende dieses ersten Verfahrensschrittes kann durch die Auswertung der unterschiedlichen Impedanzen der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise die aktuelle Position des Beeinflussungselements bestimmt werden.

5

In einem zweiten Verfahrensschritt wird nun durch den Umschalter diejenige Spule  $x$  angewählt, die in dem ersten Verfahrensschritt als diejenige Spule ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements – am Besten – bestimmt werden kann. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wäre dies die vierte Spule, d. h.  $x = 4$ . Anschließend wird die Impedanz der Spule  $x$  gemessen und ausgewertet, ob sich der gemessene Wert im Vergleich zum Wert der Impedanz der Spule  $x$  im ersten Verfahrensschritt geändert hat. Ist dies nicht der Fall oder liegt die gemessene Änderung unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes, so bedeutet dies, daß das Beeinflussungselement seine Position nicht verändert hat. In diesem Fall folgt als nächstes kein Anwählen einer anderen Spule, sondern es wird erneut die Impedanz der Spule  $x$  gemessen, d. h. der Umschalter wird nicht weitergeschaltet. Der zweite Meßdurchgang ist damit bereits nach der Messung der Impedanz einer Spule beendet; eine Messung der Impedanzen der übrigen Spulen ist nicht erforderlich.

20

Ergibt dagegen die Messung der Impedanz der Spule  $x$ , daß sich der Wert der Impedanz im Vergleich zur vorangegangenen Messung verändert hat, so bedeutet dies, daß sich auch die Position des Beeinflussungselements verändert hat. In diesem Fall erfolgt als nächstes das Anwählen der der Spule  $x$  benachbarten Spule  $x + 1$  bzw. der Spule  $x - 1$  sowie die Messung der Impedanz dieser Spule. Die Entscheidung, ob die Spule  $x + 1$  oder die Spule  $x - 1$  angewählt wird, hängt davon ab, ob sich bei der Messung der Spule  $x$  der Wert vergrößert oder verkleinert hat. Da diese Information, Wert vergrößert oder verkleinert, in der Auswerteeinheit vorhanden ist, kann entsprechend die Position des Umschalters gewählt werden. Durch die Messung der Impedanz der Spule  $x$  und der Impedanz der Spule  $x + 1$  oder der Spule  $x - 1$  kann durch die Auswerteeinheit nunmehr die neue Position des Beeinflussungselements bestimmt werden.

30

In einem nächsten Schritt wird dann wiederum durch Messung der Impedanz der Spule  $x + 1$  oder der Spule  $x - 1$  überprüft, ob sich die Position des Beein-

35

flusselemente erneut verändert hat. Auch hierfür ist es jedoch nicht erforderlich, daß die Impedanz sämtlicher Spulen gemessen wird. Es wird wiederum nur die Impedanz einer einzigen Spule – und gegebenenfalls der benachbarten Spule – gemessen, so daß die jeweilige Meßzeit zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements deutlich reduziert ist.

Die Fig. 3 zeigt ein Diagramm der Kennlinien zweier Spulen, wobei in dem Diagramm auf der x-Achse die Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 und auf der y-Achse die Anzahl  $N$  der Schwingungen der beiden Spulen 4, 4' aufgetragen ist. Den beiden Kennlinien 13, 13' der beiden Spulen 4, 4' kann entnommen werden, daß es jeweils eine optimale Position 14, 14' der Vorderkante 15 des Beeinflussungselements 2 gibt, bei der eine geringe Positionsänderung des Beeinflussungselements 2 eine maximale Änderung der Anzahl  $N$  der Schwingungen der jeweiligen Spule 4, 4' bewirkt. Je weiter das Beeinflussungselement 2 von dieser optimalen Position 14, 14' entfernt ist, desto geringer ist der Einfluß des Beeinflussungselements 2 auf die jeweilige Spule 4, 4', so daß bei einer geringen Änderung der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 sich die Anzahl  $N$  der Schwingungen der jeweiligen Spule 4, 4' innerhalb einer vorgegebenen Zeitdauer nicht – oder nur sehr gering – verändert. Dann kann durch diese Spule 4, 4' die Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 nicht mehr bestimmt werden.

Anhand der Fig. 3 soll nun erläutert werden, welche Spule 4, 4' in Abhängigkeit von der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 gemäß der vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 ausgewertet wird. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich das Beeinflussungselement 2 – bei der Darstellung gemäß Fig. 3 – von links nach rechts bewegt, wobei als Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 stets dessen Vorderkante 15 genommen wird. Im dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die beiden Spulen 4, 4' jeweils eine Breite von ca. 4 mm auf. Bevorzugt weist dann das Beeinflussungselement 2 eine Länge von ca. 8 mm auf, so daß sich die Vorderkante 15 des Beeinflussungselements 2 zunächst bei der Position  $s \approx 8$  mm befindet.

Der Fig. 3 kann entnommen werden, daß in dieser Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 eine geringe Positionsänderung des Beeinflussungselements

2 eine relativ große Änderung der Anzahl  $N$  der Schwingungen der Spule 4 bewirkt wird. Bei dieser Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 ist somit die Spule 4 diejenige Spule, mit der die Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 am Besten bestimmt werden kann. Die Spule 4 ist dann in diesem Fall die  
5 "aktuelle" Spule.

Wird das Beeinflussungselement 2 weiterbewegt, so verringert sich allmählich die mit der Spule 4 erreichbare Meßgenauigkeit. Daher wird innerhalb des schraffierten Bereichs 16 zur Bestimmung der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 zusätzlich die Spule 4' gemessen. Je weiter sich dabei die Vorderkante 15 des Beeinflussungselements 2 von der optimalen Position 14 der Spule 4 in Richtung der optimalen Position 14' der Spule 4' bewegt, desto  
10 "besser" ist das Meßergebnis der Spule 4' im Vergleich zum Meßergebnis der Spule 4. Dies wird bei dem Verfahren dadurch berücksichtigt, daß bei der Bestimmung der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 die Meßwerte der beiden gemessenen Spulen 4, 4' gewichtet werden. Die Gewichtung für die jeweilige Spule 4, 4' ist dabei um so größer, je näher die Vorderkante 15 des Beeinflussungselements 2 bei der optimalen Position 14, 14' der Spule 4, 4' ist. Bei einer Bewegung des Beeinflussungselements 2 von der Position  $s \approx 10$   
15 zur Position  $s \approx 12,5$  wird somit die Gewichtung des Meßergebnisses für die Spule 4 ständig geringer, während die Gewichtung des Meßergebnisses für die Spule 4' entsprechend größer wird.

Innerhalb des Bereichs 17, der sich etwa von der Position  $s = 12,8$  bis  $s = 14,8$  erstreckt, wird zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements 2 nur die Spule 4' gemessen. Bewegt sich das Beeinflussungselement 2 über die Position  $s \approx 14,8$  mm hinaus, so werden wiederum abwechselnd zwei Spulen, nämlich die – vorher aktuelle – Spule 4' und die räumlich benachbarte – hier nicht dargestellt – Spule gemessen. Auch dabei werden wiederum die Meßwerte der beiden Spulen in Abhängigkeit von der Position  $s$  des Beeinflussungselements 2 gewichtet. Der Bereich, in dem zur Bestimmung der Position des Beeinflussungselements 2 die Spule 4' und die nächste benachbarte Spule  
25 gemessen werden, ist mit dem Bezugszeichen 18 versehen.

### Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren linear oder kreisförmig hintereinander angeordneten Spulen, mit einem Kondensator oder mit einem definierten Schwingkreis, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator oder je eine Spule und der definierte Schwingkreis einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, mit folgenden Schritten

- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen zeitlich nacheinander mit dem Kondensator oder dem definierten Schwingkreis verbunden werden,
- Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule bzw. des durch den Umschalter angewählten Schwingkreises durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zu der Spule,

wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt, d. h. nacheinander mit dem Kondensator oder dem definierten Schwingkreis verbunden worden sind und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß im weiteren Betrieb zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule (aktuelle Spule) ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements bestimmt werden kann und

daß erst dann die Impedanz mindestens einer weiteren Spule bzw. eines weiteren Schwingkreises gemessen wird, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der aktuellen Spule ausreichend verändert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dann, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der aktuellen Spule verändert, die

Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises der räumlich benachbarten Spule gemessen wird.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb einer Messung zwei Spulen, nämlich die aktuellen Spule und die räumlich benachbarte Spule gemessen werden.
- 10 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Spulen abwechselnd gemessen werden, wobei vorzugsweise die erste Messung nach dem Umschalten nicht zur Auswertung herangezogen wird.
- 15 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bestimmung der Position des Beeinflussungselements die Meßwerte der beiden gemessenen Spulen gewichtet werden.
- 20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Spulen adressierbar sind.
- 25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Kalibriervorgang das Beeinflussungselement über den maximal meßbaren Weg des induktiven Positionssensors verfahren wird und die erhaltenen Werte der einzelnen Spulen bzw. Schwingkreise als Korrektur- bzw. Referenz-Werte gespeichert werden.
- 30 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Anschluß an die Messung der aktuellen Spule oder der abwechselnden Messung zweier Spulen eine dritte Spule gemessen wird, wobei die dritte Spule nicht benachbart zur aktuellen Spule ist.
- 35 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit eine Veränderung der Frequenz einer jeden Spule bzw. eines jeden Schwingkreises in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zu den jeweiligen Spulen mißt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der induktive Positionssensor einen Zähler aufweist, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der

Auswerteeinheit verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler nacheinander die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zählt, der gerade durch den Umschalter angewählt ist, und die Auswerteeinheit jeweils die Zeit mißt, die vergeht, bis der Zähler einen voreingestellten Wert erreicht hat.

5

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der induktive Positionssensor einen Zähler aufweist, der einerseits mit dem Oszillator und andererseits mit der Auswerteeinheit verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler jeweils während einer vorgegebenen Zeit die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zählt, der gerade durch den Umschalter angewählt ist, und die Auswerteeinheit diese Anzahl auswertet.

10

12. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit während einer vorgegebenen Zeit die Anzahl der Schwingungen des Oszillators zählt, der gerade durch den Umschalter angewählt ist, diese Anzahl auswertet und in Abhängigkeit davon dem Umschalter ansteuert.

15

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit von einem Mikroprozessor gebildet wird und dem Mikroprozessor ein Verteiler vorgeschaltet wird.

20

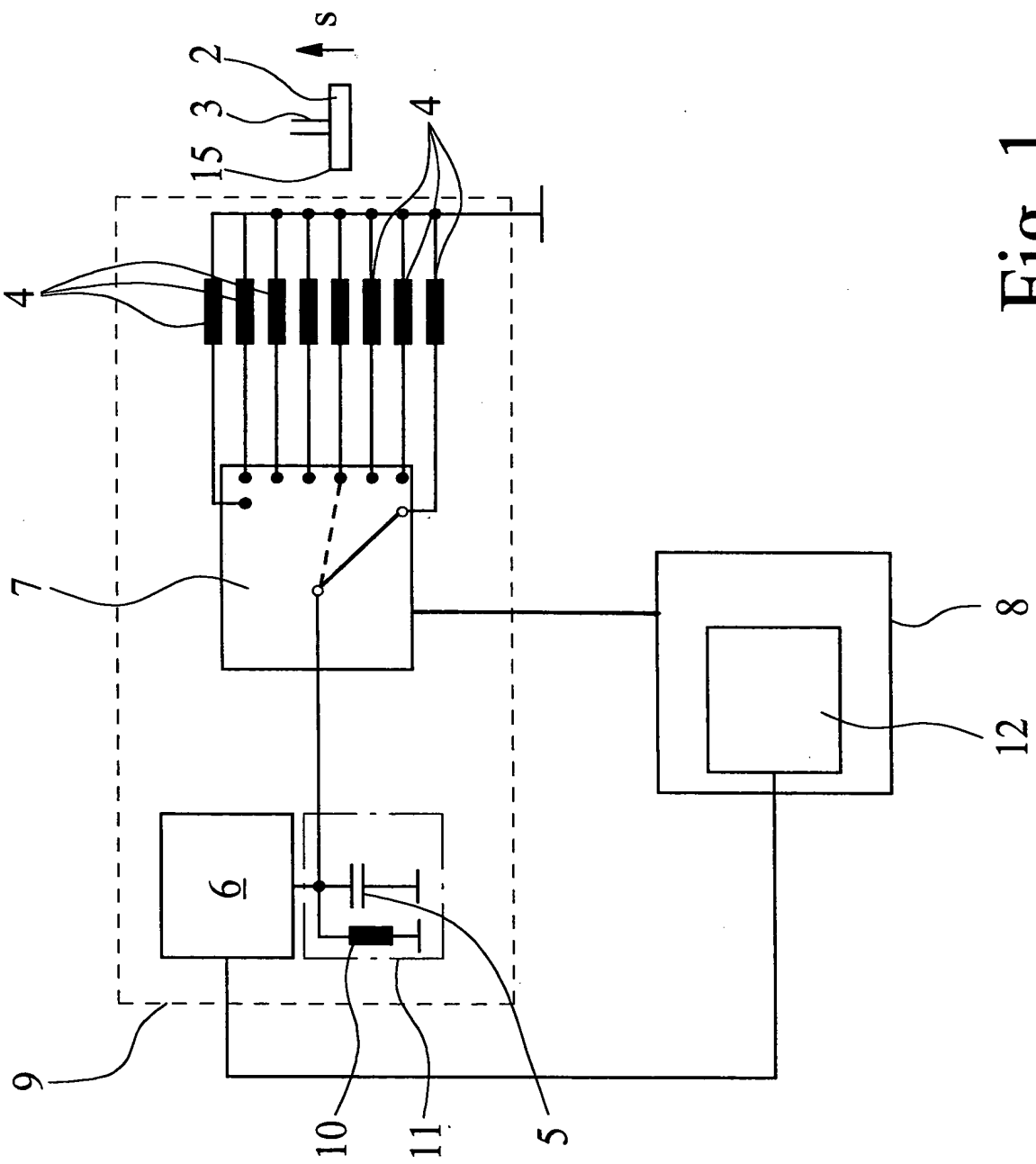


Fig. 1

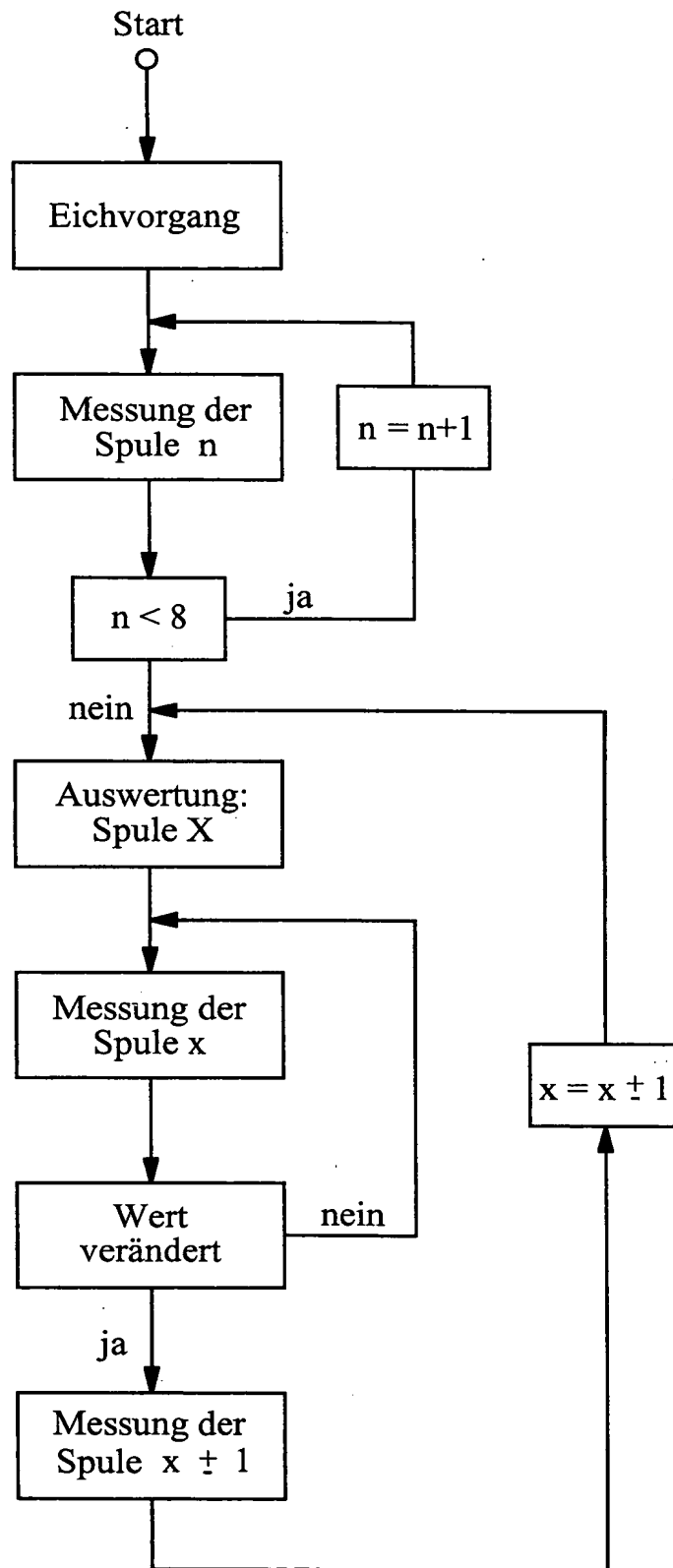


Fig. 2

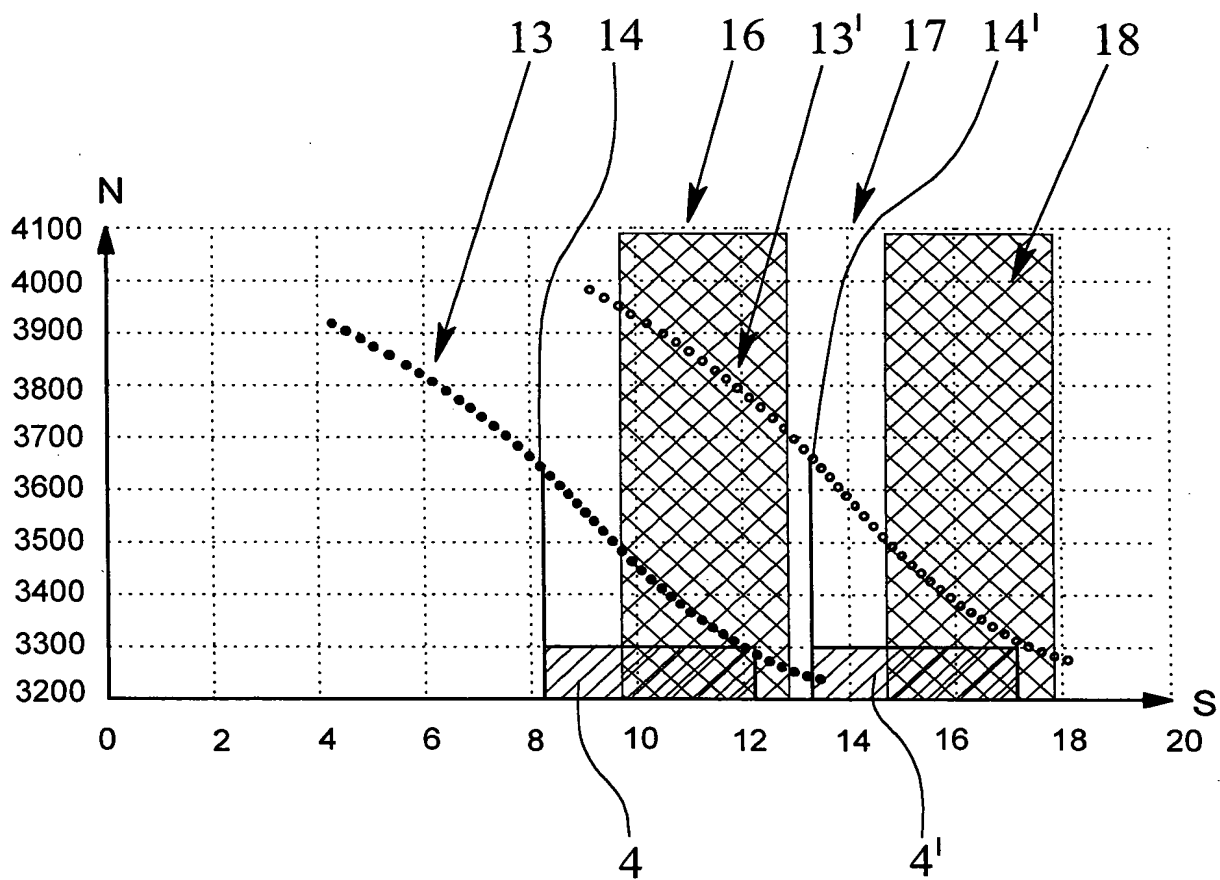


Fig. 3

## **Zusammenfassung:**

Dargestellt und beschrieben ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Beeinflussungselements, mit einem induktiven Positionssensor, mit mehreren linear oder kreisförmig hintereinander angeordneten Spulen, mit einem Kondensator, mit einem Verstärkerelement, mit mindestens einem Umschalter und mit einer Auswerteeinheit, wobei je eine Spule und der Kondensator einen Schwingkreis bilden und der Schwingkreis und das Verstärkerelement einen Oszillator bilden, mit folgenden Schritten

- Anwählen je einer Spule bzw. eines Oszillators durch den Umschalter, indem die einzelnen Spulen zeitlich nacheinander mit dem Kondensator verbunden werden,
- Messen der Impedanz der durch den Umschalter angewählten Spule durch die Auswerteeinheit in Abhängigkeit von der Position des Beeinflussungselements relativ zu der Spule,

wobei die vorgenannten Schritte so oft wiederholt werden, bis durch den Umschalter alle Spulen nacheinander angewählt, d. h. nacheinander mit dem Kondensator verbunden worden sind und die Impedanz aller Spulen durch die Auswerteeinheit gemessen worden ist

Im weiteren Betrieb wird zunächst nur die Impedanz der Spule bzw. des Schwingkreises gemessen wird, die zuvor als diejenige Spule (aktuelle Spule) ermittelt worden ist, mit der die Position des Beeinflussungselements bestimmt werden kann und erst dann die Impedanz mindestens einer weiteren Spule bzw. eines weiterer Schwingkreises gemessen wird, wenn sich der gemessenen Werte der Impedanz der aktuellen Spule ausreichend verändert.

